

І. Ю. Юрчак, П. С. Вишинський

Національний університет «Львівська політехніка»,  
кафедра електронних обчислювальних машин

## ЗАСТОСУВАННЯ АЛГОРИТМІВ НЕЧІТКОЇ ЛОГІКИ В СИСТЕМАХ РОЗУМНОГО БУДИНКУ

© Юрчак І. Ю., Вишинський П. С., 2018

Розглянуто методи та підходи до побудови систем «розумного будинку». Оглянуто рівні інтелектуалізації сучасних будівель залежно від оснащення інженерними системами. Проаналізовано вимоги щодо систем «розумного будинку» та визначено основні очікування власників помешкань від впровадження таких систем, зокрема, енергозбереження, рівень комфорту та безпеки.

Досліджено основні технології та способи керування системами «розумного будинку». Для розроблення ефективної системи регулювання температурного режиму запропоновано підхід, що ґрунтується на математичному апараті нечіткої логіки. Розроблено архітектуру системи, визначено основні модулі та їхні функції. Реалізовано алгоритм для визначення комфортних температур для приміщення. Сформовано базові терм-множини, визначено лінгвістичні змінні та функції належності, складено таблицю нечітких правил. Розроблено методіку об'єднання відсічених функцій та оцінювання нечітких правил за алгоритмом Мамдані. Ця методіка дозволяє за допомогою оцінки внутрішньої і зовнішньої температури повітря з використанням правил нечіткої логіки визначити, як потрібно скорегувати температуру до комфортних значень.

Ключові слова: розумний будинок, нечіткі алгоритми, інтелектуалізація будинків.

I. Yurchak, P. Vyshynskyi  
Lviv Polytechnic National University,  
Computer Engineering Department

## APPLYING OF ALGORITHMS OF FUZZY LOGIC IN SYSTEMS OF A SMART HOUSE

© Yurchak I., Vyshynskyi P., 2018

There was considered the methods and approaches to the construction of "smart house" systems. Reviewed the level of intellectualization of modern buildings, which depending on the equipment of engineering systems. Conducted an analysis of requirements for "smart house" systems and determined the main expectations of owners of dwellings from the introduction of these systems, in particular, energy saving, level of comfort and safety.

There was conducted the research on the main technologies and methods of control of "smart house" systems. An approach based on a mathematical apparatus of fuzzy logic is proposed to develop an effective system of temperature control. Developed the architecture of the system, defined the main modules and their functions. Implemented an algorithm for determining the comfort of the room. Defined the basic term sets are formed, linguistic variables and membership functions, compiled the table of fuzzy rules. Developed the method of combining cut off functions and estimating fuzzy rules based on Mamdani algorithm. This

**technique allows using the evaluation of the internal and external air temperature using the rules of fuzzy logic to determine how to adjust the temperature to comfortable values.**

**Key words: smart house, fuzzy algorithms, intellectualization of buildings.**

### **Вступ**

В умовах швидкого розвитку мікропроцесорної техніки та побудови на їх основі програмованих пристроїв керування багатьма видами побутового обладнання виникає потреба і, головне, можливість максимального забезпечення реалізації зростаючих вимог до комфортних умов проживання та праці мільйонів людей.

Сьогодні актуальними є різні методи та моделі автоматизованого управління – так звані системи розумного будинку та відповідні процеси в ньому. Вони реалізуються для забезпечення комфортного перебування людей в приміщенні, а також для автоматизованого управління різними системами, такими як опалення, освітлення, мультимедіа тощо.

Ядром таких комплексів є апаратно-програмна система, що надає змогу забезпечити максимально комфортні умови проживання з врахуванням індивідуальних вимог та потреб користувача. Ця система дозволяє досягти суттєвого скорочення енергетичних витрат за рахунок раціонального використання енергоносіїв. Вирішення цих задач залежить від характеристик житла та рівня його комфортності.

### **Стан проблеми**

Сьогодні з врахуванням поширеності комп'ютерних технологій актуальними є різні методи та моделі систем автоматизованого управління розумного будинку.

Більшість існуючих рішень розумного будинку надають можливість користувачу самостійно налаштувати ті або інші параметри системи (температуру, освітлення тощо). Проте існує потреба в розробленні систем, які можуть на основі вхідних параметрів самостійно приймати рішення і адаптувати потрібні показники (наприклад, температуру повітря в будинку).

### **Постановка задачі**

Розглянути та проаналізувати поняття “розумний будинок”, доцільність їх використання, виявити основні переваги, складові та їхні функції.

Проаналізувати рівні інтелектуалізації будинків, визначити характерні особливості для кожного з рівнів та напрямки їх розвитку. Визначити основні принципи керування та засоби реалізації, що в основному цікавлять кінцевих користувачів.

Дослідити можливості застосування нечітких алгоритмів в системах розумного будинку.

### **Розв'язання задачі**

**1. Поняття “розумний будинок” та його види.** Тенденції розвитку сучасних технічних систем передбачають зменшення їхніх розмірів та маси, нарощення функціональності та інтелектуалізації, що значною мірою зумовлено жорсткими вимогами ринкової економіки, необхідністю зменшення енергетичних затрат, підвищення надійності, задоволення зростаючих вимог користувачів тощо [1].

У таких умовах з'являються нові системи, які ґрунтуються на нових технологіях, сучасній елементній базі, високому рівні інтелектуалізації функцій тощо. Однією з таких технологій є системи “розумного будинку”. В літературі можна зустріти й інші назви цієї технології, а саме: “Smart House”, “Smart Home”, “Intelligent Building” та ін. Детальний аналіз вказаних термінів надає змогу виокремити та проаналізувати їх особливості, специфіку та відмінності [2,3].

Під терміном “Smart House” розуміють сучасний житловий будинок, що призначений для комфортного проживання мешканців шляхом використання високотехнологічних пристроїв, які приєднані до домашньої мережі “Universal Plug'n'Play” з можливістю виходу в мережі загального користування [5].

Назва “Intelligent building” використовується для системи, яка інтегрована в помешкання і має здатність розпізнавати різні ситуації, що відбуваються у приміщенні та відповідним чином

реагувати на них [6]. Ця реакція визначається згідно з наперед розробленим та запрограмованим алгоритмом. Можна стверджувати, що система наділена певним рівнем інтелекту.

Загалом під технологією розумного будинку здебільшого розуміють систему, що об'єднує в собі ряд підсистем, які забезпечують комфортні умови проживання мешканців у приміщенні та надають змогу суттєво зменшити витрати енергоносіїв. Для управління такою системою забезпечується централізоване керування з одного технічного пристрою, виконаного у формі пульта [4].

Системи розумного будинку, як правило, містять такі основні підсистеми, як: клімат-контроль, системи керування опаленням, освітлення, захисту, підсистему централізованого керування аудіо- та відеосистемами і побутовими системами, підсистему запобігання технічним аваріям та ін.

Сьогодні в керований комплекс «розумний будинок» можна об'єднувати окремі підсистеми різних виробників. На етапі проектування передбачено можливість оптимального інтегрування систем з мінімальними витратами та можливістю видозміни конфігурації.

**2. Аналіз вимог до системи «розумний будинок».** Вимоги до створення системи «розумний будинок» не можна чітко визначити і зробити їх універсальними, оскільки в кожного власника вони дещо відрізняються, що викликає певні труднощі в процесі її реалізації та обумовлює необхідність постійного вдосконалення, налаштування і програмування певних функцій.

Аналізуючи статистику проведених опитувань різних міжнародних видань, можна сформулювати перелік вимог власників помешкань, які очікуються від системи «розумний будинок» та їх значущість [8].

- Зручність – 30 %
- Простота використання – 17 %
- Центральне управління – 10 %
- Надійність – 8 %
- Задоволення/розваги – 8 %
- Комфорт – 8 %
- Вартість/якість – 6 %
- Естетика/зовнішній вигляд – 5 %
- Економія – 4 %
- Безпека – 3 %
- Сервіс – 1 %

З наведеної статистики можна зробити висновок, що найбільші очікування від системи «розумний будинок» пов'язані з комфортом проживання, а вимога економії енергоносіїв займає лише дев'яте місце. Така ситуація справедлива для закордонних власників систем «розумний будинок».

Стосовно України, більша частина споживачів встановлює системи «розумний будинок» передусім для зменшення витрат енергоносіїв, а вже потім – для забезпечення комфорту та підтвердження свого статусу. Розробники та постачальники таких систем, як правило, мають певний базовий комплект для реалізації системи інтелектуального будинку і пропонують встановити його власнику будівлі.

До переваг подібних систем можна зарахувати зменшення необхідних ресурсів для комфортного проживання в будинку. За даними статистики, в середньому, система «розумний будинок» забезпечує зменшення [9]:

- експлуатаційних витрат – 30 %;
- платежів за електроенергію – 30 %;
- платежів за воду – 40 %;
- платежів за тепло – 50 %;
- викидів вуглекислого газу – 30 %;
- пільг з страхування ризиків – до 60 %.

Отже, система розумного будинку надає змогу істотно підвищити ефективність використання енергоресурсів, рівень комфорту, рівень безпеки тощо.

**3. Аналіз рівнів інтелектуалізації сучасних будівель.** Будинок називається розумним, якщо в ньому наявна певна комп'ютерна чи контролююча система управління інженерним оснащенням [4]. Ступінь керованості чи контролю встановленого обладнання (або підсистем) визначає рівень інтелектуалізації будівлі. Всі будинки можна поділити на 5 рівнів інтелектуалізації залежно від оснащення інженерними системами. Кожен наступний рівень містить як можливості попереднього, так і додаткові можливості [10].

Нульовий рівень – це звичайні сучасні споруди – “не інтелектуальні”, хоча і обладнані всіма необхідними системами життєзабезпечення.

Перший рівень – рівень “активного регулювання” – це системи, що оснащені індикаторами стану та пристроями керування. Користувач має можливість переглянути інформацію про стан систем та, за потреби, регулювати роботу побутових пристроїв і систем: автоматичне вмикання/вимикання освітлення та регулювання рівня освітлення залежно від часу доби; опалення та вентиляція регулюється терморегуляторами та вентиляторами; автоматичне вмикання побутових пристроїв у разі їх невикористання протягом певного проміжку часу.

Другий рівень – рівень “централізованого керування”. На цьому рівні в споруді окремі системи життєзабезпечення об'єднуються через загальну структуровану кабельну систему (інтеграція інженерних систем) та централізовано дистанційно керуються через центральний контролер:

- система клімат-контролю керує температурою, вологістю та іонізацією повітря в приміщенні;
- система безперебійного живлення контролює використання електроенергії та здійснює захист від перевантажень, система освітлення обладнана аварійним джерелом живлення;
- система контролю водогону керує нагрівом та температурою води, обладнана давачами протікання води та контролю каналізації;
- протипожежну систему та систему газопостачання обладнано давачами газу, диму та сигналізацією, охоронна система містить пристрої ідентифікації власника та відеоспостереження;
- система керування зв'язком контролює телефон, Інтернет та мультимедійні пристрої [10].

Усі системи можуть керуватися з одного пульта чи можливе використання голосового керування. На цьому рівні проявляються відмінності в специфіці роботи для споруд різного призначення: адміністративних споруд (захист інформації та конференц-зв'язок), промислових споруд (автоматизації технологічних процесів) та житла підвищеного комфорту (регулювання температури води, поливу газонів, прибирання роботами-пилососами).

Третій рівень – рівень “внутрішньої інтеграції” – вся споруда є однією інтегрованою системою. На цьому рівні відбувається оптимізація різних показників, взаємодія всіх підсистем та автоматичне керування (централізоване чи розподілене). Тут присутні всі системи, що й на другому рівні, але всі вони інтегровані в одну складну систему інтелектуального будинку.

Залежно від типу, система інтелектуального будинку може бути відкритою чи закритою. Закрита – якщо всі пристрої та складові системи виготовив один виробник. Її перевага – менша ймовірність втручання у систему, але це одночасно і недолік – прив'язування до певного виробника і висока монопольна ціна на пристрої. Майбутнє – за відкритими системами OSI/ISO (Open System Interconnection / International Standard Organisation), в яких пристрої різних виробників будуть уніфікованими та взаємозамінними.

Залежно від способів керування системи можуть бути централізованими (всі підсистеми керуються одним процесором) чи розподіленими (в процесі керування беруть участь багато рівноцінних процесорів). Основний недолік централізованої системи керування в тому, що на один процесор припадає все навантаження і можливі поламаки від такого інтенсивного використання, що виводять з ладу всю систему. За розподіленого керування вихід з ладу процесорів є менш ймовірним, оскільки на кожного з них припадає менше навантаження, що також підвищує швидкодію процесорів. Вихід з ладу одного процесора не призводить до зупинки роботи всієї системи. Відповідно система є надійною.

Четвертий рівень – рівень “зовнішньої інтеграції”, за якого система взаємодіє із зовнішніми системами та мережами: комунальними службами, службами порятунку та охорони, провайдерми зв’язку і кабельного телебачення за допомогою засобів взаємодії користувача з інформаційною системою. Власник має можливість керувати системами газо-, водо-, тепло- та енергопостачання як з будинку, так і дистанційно, навіть перебуваючи на значній відстані від оселі. Сучасні телекомунікаційні можливості з’єднують системи розумного будинку зі службами міста та у випадку аварій надсилають сигнал до служб порятунку тощо.

За такої інтеграції в загальні системи і мережі актуальним питанням є технічний захист інформації всіх споруд. Цього рівня ще не досягнуто, оскільки зовнішні системи не готові самостійно “спілкуватись” із розумним будинком.

П’ятий рівень – рівень “адаптації” – сьогодні не реалізовано – це перспектива найближчого майбутнього. За задумом розробників, на цьому рівні система адаптується до різних факторів: погодних умов, пори року, нового власника тощо.

Узагальнюючи, можна стверджувати, що системи “розумного будинку” розвиваються від простих до складних, від окремих до інтегрованих, від централізованих до розподілених, від закритих до відкритих, від стаціонарних до адаптованих. Відповідно, інтелектуалізація функцій таких систем потребує вирішення низки завдань на кожному з ієрархічних рівнів автоматизованого проектування, що надає змогу стверджувати про необхідність введення інтелектуального аспекту в процес розроблення.

**4. Аналіз застосування алгоритмів нечіткої логіки.** Алгоритми нечіткої логіки можна застосовувати для визначення комфортних умов перебування в системах “розумного будинку”. Одним з таких напрямів є обчислення комфортних температур.

Реалізація системи оцінювання передбачає три основні етапи [11]:

- визначення лінгвістичних змінних, базових терм-множин, функції належності;
- визначення правил нечітких висновків;
- процес дефазифікації.

Ці етапи схематично зображено на рис. 1.

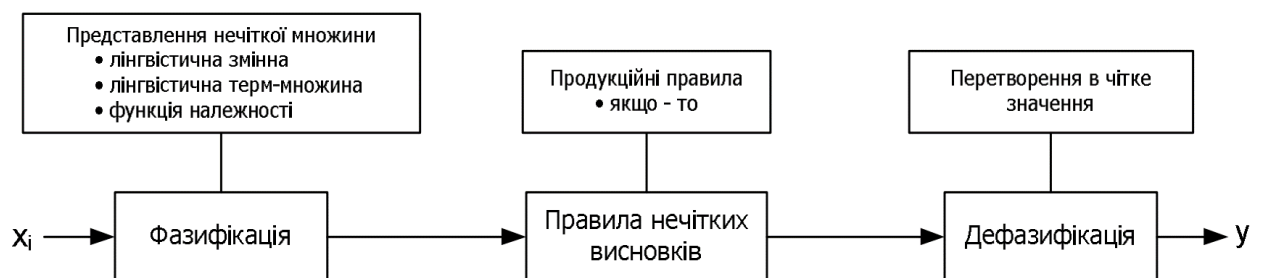


Рис. 1. Модель нечіткої логіки в системі оцінювання

Для кожної лінгвістичної змінної необхідно сформулювати базову терм-множину. Для змінної, наприклад, “температура всередині приміщення” така множина складатиметься із чотирьох термів: “холодно”, “нейтрально”, “тепло”, “гаряче”.

Наприклад, для змінної «температура повітря атмосфери» така множина складатиметься із чотирьох термів: “холодно”, “нейтрально”, “тепло”, “гаряче”.

Після того, як вибрано лінгвістичні змінні, сформовано терм-множини та побудовано функції належності, необхідно скласти продукційні правила для моделі (правила виду “Якщо” ..., “Тоді”...). Приклади побудови правил показано у таблиці. Деякі значення в таблиці відсутні – це означає, що у відповідному правилі вихід не залежить від цієї лінгвістичної змінної.

Правила, що подані в таблиці, потрібно читати так:

1. Якщо  $T_{in}$  є «холодно», і  $T_{out}$  є «мороз», і  $S_{inf}$  є «середній», тоді  $T_{surf}$  є «низька».

2. Якщо  $T_{in}$  є «холодно» і  $T_{out}$  є «холодно», і  $V_w$  є «помірний», і  $S_{ind}$  є «середній», і  $R$  є «високий» тоді  $T_{surf}$  є «низька».

### Приклад побудови правил нечіткої логіки

| Правила |      |           |           |          |           |         |      |             |
|---------|------|-----------|-----------|----------|-----------|---------|------|-------------|
| № з/п   |      | $T_{in}$  | $T_{out}$ | $V_w$    | $S_{ind}$ | $T$     |      | $T_{surf}$  |
| 1       | Якщо | холодно   | мороз     |          | середній  |         | Тоді | низька      |
| 2       | Якщо | холодно   | холодно   | помірний | середній  | високий | Тоді | низька      |
| 3       | Якщо | холодно   | тепло     | сильний  |           | низький | Тоді | низька      |
| 4       | Якщо | комфортно | тепло     | свіжий   |           | низький | Тоді | середня     |
| 5       | Якщо | комфортно | мороз     | свіжий   | високий   | низький | Тоді | низька      |
| 6       | Якщо | комфортно | холодно   | помірний | високий   | низький | Тоді | середня     |
| 7       | Якщо | комфортно | спека     | сильний  | середній  | низький | Тоді | середня     |
| 8       | Якщо | комфортно | тепло     | помірний | високий   | високий | Тоді | висока      |
| ...     |      |           |           |          |           |         |      |             |
| 14      | Якщо | тепло     | тепло     | помірний |           |         | тоді | дуже висока |
| ...     |      |           |           |          |           |         |      |             |

Результат, отриманий після оцінювання нечітких правил, зазвичай є нечітким значенням. Функцію належності використовують для перетворення нечіткого виходу на чітке значення. Цей процес називається дефазифікацією. Одним з методів, які для цього застосовують, є метод середнього центру або центроїдний метод, що і було використано в цій роботі.

Об'єднання отриманих відсічених функцій (згідно з алгоритмом Мамдані) відбувається за допомогою максимізації [11]. На рис. 2 показано процес оцінювання нечітких правил за алгоритмом Мамдані в графічному вигляді.

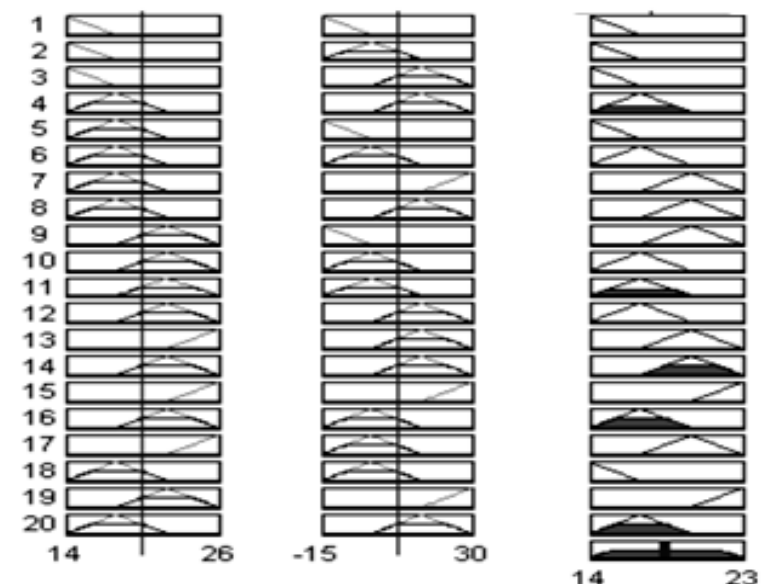


Рис. 2. Процес оцінювання нечітких правил

Ця методика дозволяє за допомогою оцінювання внутрішньої і зовнішньої температури повітря з використанням правил нечіткої логіки визначити, як потрібно скорегувати температуру до комфортних значень.

## Висновок

У роботі проаналізовано стану проблеми розроблення системи розумного будинку. Розглянуто передумови виникнення поняття “розумний будинок” та такі поняття, як “Smart House” та “Intelligent building” та що під ними розуміють.

Проаналізовано вимоги до побудови систем розумного будинку; які вимоги більше затребувані, а які менше. Проаналізовано основні переваги побудови таких систем та вигоди для кінцевого користувача. Розглянуто і проаналізовано 6 рівнів інтелектуалізації сучасних будівель: від нульового рівня – це найпростіший будинок, до п'ятого рівня інтелектуалізації, коли система адаптується під користувача.

Проаналізовано використання алгоритмів нечіткої логіки та застосування їх у системах розумного будинку. Розглянуто принцип визначення комфортної температури в будинку з врахуванням внутрішньої і зовнішньої температури повітря.

1. Системы “Умный дом” [Електронний ресурс]. Режим доступу: [http://www.vashdom.ru/articles/research\\_2.htm](http://www.vashdom.ru/articles/research_2.htm). 2. Euronews. Новітні технології. Майбутнє – за голосовими технологіями [Електронний ресурс]. 3. Гололобов В. Н. “Умный дом” своими руками / В. Н. Гололобов. – Москва : НТ Пресс, 2007. – 416 с. 4. Элсенпитер Р. Умный Дом строим сами / Роберт К. Элсенпитер, Тоби Дж. Велт. – М. : Кудиц – Образ, 2005. – 384 с. 5. Волошин О. “Home Smart Home” журнал Компьютерра No 18 13.05.2008 / О. Волошин. 6. Заборский Г. “Умный дом” и проблемы развития / Г. Заборский // Архитектура и строительство : No (206). – 2009. 7. Mann W. The state of the science / Mann William C // Smart technology for aging, disability and independence. – John Wiley and Sons, 2005. 8. “Розумний будинок” з інтелектуальною начинкою [Електронний ресурс]. Режим доступу: <http://alls.in.ua/12199-rozumnijj-budinok-z-intelektualnoyu-nachinkoyu.html>. 9. “Розумний будинок” – економія чи дорога іграшка [Електронний ресурс]. Режим доступу: [http://sofit.com.ua/articles/rozumnij\\_budinok\\_ekonom\\_ya\\_chi\\_doroga\\_grashka](http://sofit.com.ua/articles/rozumnij_budinok_ekonom_ya_chi_doroga_grashka) 10. Державна архітектурно-будівельна інспекція України. Гірник М. А.: Інтелектуальна споруда – інтегрована інформаційна система [Електронний ресурс]. Режим доступу: <http://www.dabi.gov.ua>. 11. «Побудова моделі оцінювання параметрів теплового комфорту на основі нечіткої логіки 2010./ Машевська М., Ткаченко П. Режим доступу: <http://ena.lp.edu.ua:8080/bitstream/ntb/8270/1/141pdf>.

1. Systemy “Umnyi dom” [Elektronnyi resurs]. Rezhym dostupu: [http://www.vashdom.ru/articles/research\\_2.htm](http://www.vashdom.ru/articles/research_2.htm). 2. Euronews. Novitni tekhnolohii. Maibutnie – za holosovymy tekhnolohiiamy [Elektronnyi resurs]. 3. Hololobov V. N. “Umnyi dom” svoymy rukamy / V. N. Hololobov. – Moskva : NT Press, 2007. – 416 s. 4. Elsenpyter R. Umnyi Dom stroym samy / Robert K. Elsenpyter, Toby Dz. Velt. – M.: Kudyts – Obraz, 2005. – 384 s. 5. Voloshyn O. “Home Smart Home” zhurnal Kompiuterra No 18 13.05.2008 / O. Voloshyn. 6. Zaborskyi H. “Umnyi dom” y problemy razvytyia / H. Zaborskyi // Arkhytektura y stroytelstvo : No 7 (206). – 2009. 7. Mann W. The state of the science / Mann William C // Smart technology for aging, disability and independence. – John Wiley and Sons, 2005. 8. “Rozumnyi budynok” z intelektualnoi nachynkoiu [Elektronnyi resurs]. Rezhym dostupu: <http://alls.in.ua/12199-rozumnijj-budinok-z-intelektualnoyu-nachinkoyu.html>. 9. “Rozumnyi budynok” – ekonomiiia chy doroha ihrashka [Elektronnyi resurs]. Rezhym dostupu: [http://sofit.com.ua/articles/rozumnij\\_budinok\\_ekonom\\_ya\\_chi\\_doroga\\_grashka](http://sofit.com.ua/articles/rozumnij_budinok_ekonom_ya_chi_doroga_grashka). 10. Derzhavna arkhitekturno-budivelna inspektsiia Ukrainy. Hirnyk M. A.: Intelektualna sporuda – intehrovana informatsiina systema [Elektronnyi resurs]. Rezhym dostupu: <http://www.dabi.gov.ua>. 11. «Pobudova modeli otsiniuvannia parametriv teplovoho komfortu na osnovi nechitkoi lohiky 2010./ Mashevskaya M., Tkachenko P. Rezhym dostupu: <http://ena.lp.edu.ua:8080/bitstream/ntb/8270/1/141pdf>.